

특 집

Switched Reluctance Motor Drive의 구동특성 개선을 위한 가변속 제어기술

황 영 문 *, 추 영 배 **

(* 부산대 전기공학과 교수, ** 거제대학 전기과 조교수)

1. 서 론

Switched Reluctance Motor drive (이하 SRM이라 함)는 2중 돌극형의 가변 릴럭턴스 전동기로서 스위칭 인버터에 의하여 공급되는 펄스와 전류에 의하여 구동된다. 고정자의 권선은 직류 전동기의 계자권선과 같이 집중권이며 회전자에는 권선이 없어 브러쉬레스 형이다. 고정자 전류는 회전자의 위치에 따라 스위치 온 오프되어 자기동기형이면서 속도-토크 특성은 직류 직권 전동기와 유사하고 간단한 제어만으로 속도제어가 가능하여 기본적으로 가변속 구동에 적합한 조건을 가지고 있다.

SRM 드라이브는 전자계 구조의 단순함과 펄스파 전원을 사용하는 운전조건에 의하여 여러 가지의 이점을 가지고 있지만 그 중에서도 특히, 높은 효율과 경제성의 관점에서 산업용이나 가정용으로 사용되고 있는 유도전동기와 인버터를 조합한 가변속 구동시스템을 대체할 수 있는 유력한 대안으로 기대되고 있다.^[1-3]

이에 최근 약 20년간 SRM 드라이브에 관한 각종 연구결과가 보고되면서 전동 드라이브의 큰 연구분야 중의 하나로 자리잡아 왔으며 현재에도 그 구동성능의 개선 및 소음, 진동의 억제에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다. SRM드라이브의 구동제어는 제어변수를 어떻게 제어하느냐 하는데 초점이 주어져 있다.^[4-11]

그림 1은 고정자와 회전자의 자극수가 6/4의 조합을 가진 전형적인 3상 SRM드라이브이다. 보통 서로 마주보는 두 고정자 극의 코일이 직렬 혹은 병렬로 전력용 스위치를 통하여 전원에 연결된다. 따라서 이 두 고정자극 사이의 자속경로가 갖는 릴럭턴스는 회전자 극쌍들이 고정자극들과 정렬위치로 또는 정렬위치에서 벗어나는 방향으로 회전함에 따라 변화한다. 이 때 여자된 고정자 코일과 관련된 자속경로의 릴럭턴스가 최소가 되는 방향으로 토크가 발생한다.

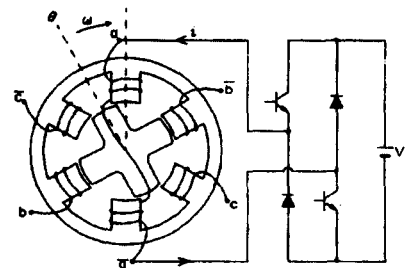


그림 1 6/4극 SRM 드라이브의 구성도

발생 토크의 크기는 식(1)에서와 같이 상전류의 제곱에 비례하고 릴럭턴스의 변화에 따른 인덕턴스의 변화분, $dL(\theta)/d\theta$ 에 비례한다.

$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \tag{1}$$

고정자와 회전자의 극호가 같은 경우, 회전자가 회전함에

2. SRM의 구동조건과 가변속 제어변수

2.1 SRM의 구동조건

따른 각 상의 인덕턴스 프로파일은 그림 2 (a)~(c)에서의 점선과 같다. 각 상의 고정자 자극이 회전자 자극과 중첩되기 시작하여 인덕턴스의 변화, $dL(\theta)/d\theta$ 가 같은 값을 갖는 구간에 해당하는 상에 그림에서의 실선과 같은 구형과 펄스전류가 흐르게 하면 그림 2 (d)에서와 같이 연속적인 토크를 발생시킬 수 있다. 따라서 SRM의 구동을 위해서는 기본적으로 회전자의 위치에 대한 정보와 이를 이용한 스위칭 신호의 발생이 필요하다.

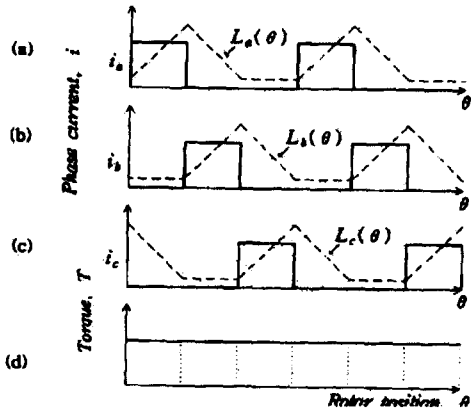


그림 2 6/4 SRM에서 각상의 인덕턴스 프로파일에 대한 이상적인 상전류파형과 토크의 발생

2.2 SRM의 가변속 제어변수

지금 회전자 위치정보에 따른 스위칭으로 구동됨으로써 SRM 드라이브는 자기 동기형 구동시스템이다. SRM에서의 가변속 제어변수를 살펴보기 위하여서는 먼저 구동전원으로써 전류원을 사용하는 경우(CSSRM)와 전압원을 사용하는 경우(VSSRM)로 나누어 생각하는 것이 편리하다.

(1) CSSRM

직류 전류원을 사용하여 SRM의 각 상에 그림 3에서와 같

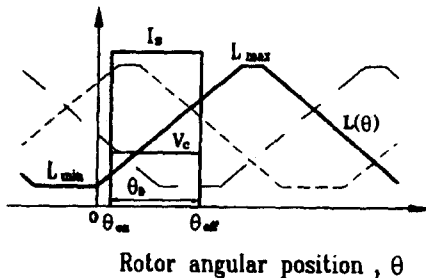


그림 3 전류원에 의한 SRM의 상전류 파형

이 구형과 전류를 흐르게 하여 구동시키는 경우로써 토크의 크기를 쉽게 제어할 수 있으며 SRM의 제어에 대한 개념을 명확히 보여준다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 정전류원을 사용하는 경우 제어변수로서는 펄스폭(pulse width) 즉, 스위칭 각도가 사용될 수 있다.

여기서 전류 크기(pulse amplitude)가 I_s 이면 상 전압은 다음 식으로 주어지는 속도 기전력 V_c 가 된다.

$$V_c = I_s \frac{dL(\theta)}{d\theta} \omega \tag{2}$$

우선 제어를 하지 않고 구동시켰을 때의 속도-토크 특성을 알아보기 위하여 여자각 θ_D 가 일정하다고 두면 전동기의 속도가 증가할수록 여자시간이 감소한다. 따라서 자속의 크기 Φ 는

$$\Phi = \frac{\theta_D}{\omega} \times V_c \tag{3}$$

으로 주어지고 단일 여자기기(singly excited machine)에서는 발생 토크의 크기가 자속의 제곱에 비례하므로 일정한 전류의 크기와 여자각에서 토크는 식(4)에서와 같이 속도의 제곱에 반비례하고 결과적으로 그 토크-속도 특성은 직류직권 전동기와 유사한 특성을 갖는다.

$$\tau = k \frac{1}{\omega^2} \tag{4}$$

전류의 크기를 가변시킬 수 있는 가변전류원을 이용하는 경우 식(1)에서 주어진 바와 같이 전류의 크기를 여자각 θ_D 와 함께 제어변수로 사용할 수 있으나 이 경우 여자각은 전동기의 공간각을 최대한 활용할 수 있도록 일정한 값으로 설정하고 전류의 크기를 이용하는 편이 맥동 토크의 관점에서 유리하다. 전류원을 사용하는 경우 개념상으로는 이렇게 간단하게 전동기의 속도-토크의 특성을 제어할 수 있지만 이러한 구형과 전류를 인버터 자체에서 만들어 공급한다는 것은 회로구성의 복잡성과 경제성의 관점에서 크게 불리하기 때문에 거의 사용되지 않고 있다.

(2) VSSRM

현재 상용화가 적극 추진되고 있는 SRM 드라이브에서는 실용상 주로 직류 전압원이 사용되고 있다. 일정한 크기의 전원전압과 일정 스위칭 각도의 조건으로 별도의 제어조건을 부여하지 않고 구동시키게 되면 식(3)과 식(4)에 의하여 CSSRM의 경우와 마찬가지로 토크가 속도의 자승에 반비례하는 전형적인 직류 직권전동기의 속도-토크 특성을 나타낸다.

정전압원을 사용했을 때 전류원의 경우와 마찬가지로 스위칭 각에 의하여 전동기의 속도-토크 특성을 제어할 수 있고 이 때 운전속도와 부하전류의 크기 그리고 스위칭 각에 따라 여러 가지의 상전류 파형을 가지게 되는데 그림 4는 그 대표적인 상전류 파형들이다.

SRM에서의 전압방정식은 가변 릴럭턴스 구조에 의하여 변화하는 상권선의 인덕턴스 영역에 따라 다음과 같이 주어진다. 우선 최소 인덕턴스의 구간에서는 식(5)에 의하여 상전류가 회로 시정수에 따른 급격한 상승을 보이고 그 크기는 최소 인덕턴스값과 어드밴스 스위칭각(advance switching angle) θ_{ad} 에 따라 정하여 진다.

$$V_i = Ri = L_u \frac{di}{dt} : L_u = \text{최소인덕턴스} \quad (5)$$

고정자와 회전자의 자극이 중첩되기 시작하여 인덕턴스의 크기가 변화하는 구간에서는 속도기전력이 크게 작용하여 회로방정식은 식(6)으로 나타내어 진다.

$$V_i - E_s - Ri = L(\theta) \frac{di}{dt} \quad (6)$$

여기서 $E_s = i \frac{dL(\theta)}{d\theta} \omega$

즉, 이 영역에서 저항강하분을 무시하면 전원전압과 속도기전력의 차이에 의하여 전류의 형태가 결정되므로 최소인덕턴

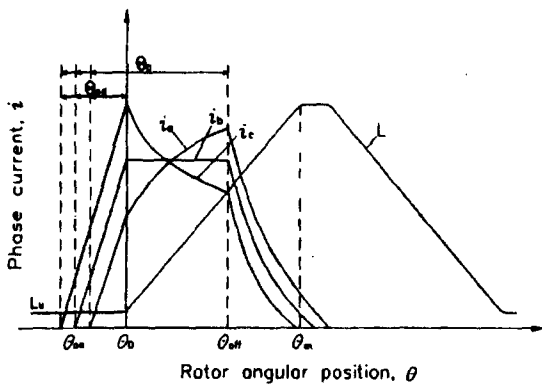


그림 4 전압원에 의한 SRM의 상전류 파형

스영역에서 확립된 전류의 크기에 따라 증가(i_a) 혹은 감소(i_c) 하게 된다. i_b 는 인가전압 V_i 과 속도기전력 E_s 이 같을 때의 파형으로 평활전류(flat-topped current)라고 불린다.

한편 전압의 크기를 변화시킬 수 있는 가변전압원을 사용하는 경우에는 스위칭 각과 함께 인가전압의 크기를 제어변수로 할 수 있고 이 경우 토크의 크기는 식(3)에서 설명된 바와 같이 전압의 자승에 비례한다.

3. SRM드라이브의 제어 기법

앞 절에서 살펴본 바와 같이 SRM의 가변속 제어변수로서는 스위칭 각과 함께 전류 혹은 전압의 크기가 사용될 수 있으며 이들 각각의 변수들을 어떠한 관점에서 어떻게 제어하느냐하는 것이 SRM의 제어기법에 있어 주요 연구대상이 되고 있으며 그 주요 관점으로서의 경제성과 함께 자기적 비선형성에 의한 영향을 포함하는 구동특성의 개선을 들 수 있다.

3.1 정전압원을 사용하는 경제적인 가변속 제어기법

정전압원 방식^(4,5)은 회로가 간단하고 경제적이므로 SRM의 가변속 제어방법으로서 가장 널리 사용되고 있다. 이 방식에서는 전원전압 V_i 와 최대 허용전류 I_m 에 대하여 평활조건을 만족하는 즉, 식(7)을 만족하는 회전속도(기본속도) ω_b 를 기준으로 이보다 낮은 속도에서는 전류의 초핑 레벨(chopping level)을 사용하여 토크의 크기를 제어하고 더 높은 속도에서는 스위칭 각으로 제어하게 되는데 전자를 초핑 모드라 하고 후자는 단일 펄스모드라고 한다.

$$\omega_b = \frac{V_s}{I_m} \frac{1}{(dL(\theta)/d\theta)} \quad (7)$$

따라서 이 기본속도는 최대토크를 가지는 가장 높은 속도이며 동시에 최대출력을 가지는 가장 낮은 속도가 되는데 그림 5는 이 제어방식에 의한 SRM의 최대출력범위에서 주어

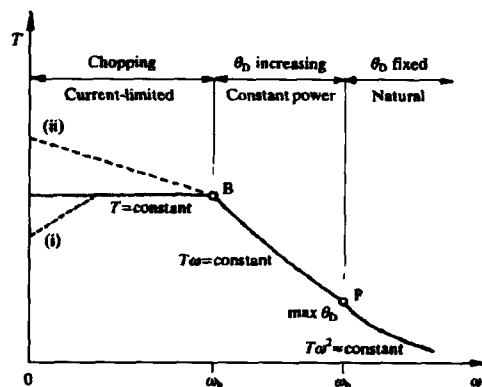


그림 5 정전압에서 스위칭 각과 전류초핑레벨에 의한 제어시의 SRM의 속도-토크 특성

진 속도-토크 특성을 나타내고 있다. 이 그림에서 제어가능한 운전범위는 특성곡선의 내부가 된다.

이 운전방식의 단점은 기본속도 이하의 저속운전 즉 초평 모드에 의하여 구동시키는 경우에 있다. 상전류의 직접 초평에 의한 스윙칭 손실에 의하여 저속일수록 효율이 급격히 떨어질 뿐 아니라 구동상태가 다소 불안정해진다. 특히 단방향 전류로 구동될 수 있는 SRM의 특성을 이용하여 소자 절감형 인버터를 사용하는 경우 환류(free wheeling) 모드가 없기 때문에 초평동작이 여자전압과 같은 크기의 역전압에 의한 이루어지기 때문에 이 문제는 더욱 심각해지고 에너지 변환효율과 함께 시스템 효율이 크게 낮아지게 된다.^[11]

3.2 상전류 파형의 평활화를 위한 제어

SRM의 상전류는 구동회로의 소자정격과 백동토크의 관점에서 보면 토크 발생영역에서 일정한 크기를 가지는 평활전류의 파형을 가지는 것이 요망되며 전동기의 전자계 구조와 구동 인버터의 설계도 모두 이러한 파형을 기준으로 이루어지는 것이 일반적이다.^[11-13] 그러므로 전압원을 이용하면서도 구동 속도나 부하 토크의 크기에 관계없이 항상 평활전류 파형의 상전류로 구동하는 방법이 필요하다. 이에 대한 대응책의 하나로는 앞 절에서 설명된 상전류를 직접 초평하는 방법이 이용될 수 있지만 상전류의 초평 자체가 여러 가지 단점을 야기시킨다는 사실은 이미 설명된 바와 같다. 여기^[6]서는 전압원을 사용하면서도 초평에 의하지 않고 상전류의 파형을 평활하게 유지할 수 있는 가변속 제어방법을 설명한다. 우선 평활전류의 파형이 되기 위해서는 두가지의 조건(A, B)이 필요하며 자기적 비선형성에 따른 보상(C)이 요구된다.

(A) 인덕턴스 증가영역(토크 발생영역)에서 평활전류가 되기 위해서는 저항강하를 무시할 때 인가전압의 크기가 속도기전력과 동일해야 하고 이 조건은 부하전류 I와 구동 각속도 ω 에 대하여 인가전압의 크기가 식(8)을 만족하도록 조정되어야 함을 의미한다. 따라서 이 조건을 만족시키기 위하여 가변전압원이 요구된다.

$$V_i = I \frac{dL(\theta)}{d\theta} \omega \tag{8}$$

(B) 최소인덕턴스 영역에서 식(7)을 만족시킬 수 있는 전류 I가 확립되어야 한다. 이 확립전류의 크기와 스위치 온각의 관계는 저항강하를 무시하므로 식(9)로 나타내어진다.

$$\theta_{on} = \frac{\omega L_u I}{V_i} \tag{9}$$

따라서 임의의 지령속도와 부하전류에 대하여 상전류가 단

일필스의 평활전류파형이 되기 위해서는 식(8)과 식(9)가 동시에 만족되어야 하는데 식(8)을 식(9)에 대입하면

$$\theta_{off} = \frac{L_u}{(dL/d\theta)} \tag{10}$$

으로 주어지고, 이 값은 전동기의 정수 즉, 최소인덕턴스의 크기와 회전각에 따른 인덕턴스의 변화율만으로 결정됨을 알 수 있다. 바꾸어 말하면 이 식에 의하여 스위치-온각을 설정해두고 코오크의 크기를 전압에 의하여 제어하면 인덕턴스 변화율이 일정한 이상 항상 평활전류의 파형을 가지는 상전류가 된다.

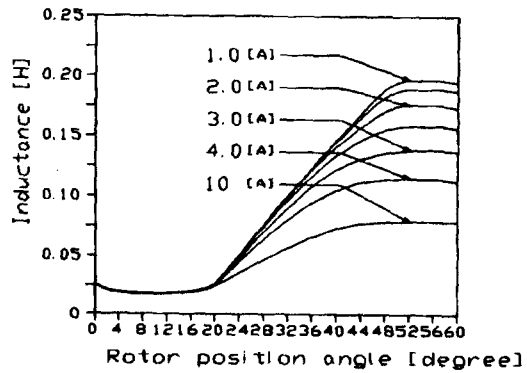


그림 6 SRM의 전류크기별 인덕턴스 프로파일

(C) 회전각에 대한 인덕턴스의 변화율은 그림 6과 같이 전류의 크기에 따라 달라진다. 부하전류의 크기에 대한 인덕턴스 변화율을 식(10)에 대입하여 θ_{off} 를 결정할 수 있지만 이 변화율 역시 비선형적으로 변화하기 때문에 이 값을 연산에 의하여 부여하기는 어렵다. 따라서 전류의 검출에 의한 보정 방법을 사용하여 θ_{off} 를 결정한다. 그 보정방법은 지금 그림

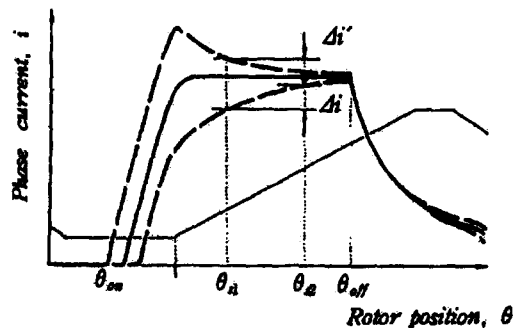


그림 7 인덕턴스 증가영역내에서의 전류변화의 검출

7에서와 같이 인덕턴스 증가영역내 임의의 두 회전자 위치각에서의 전류차 Δi 를 구하고 이 값으로부터 식(11)과 식(12)를 이용하여 θ_{ad} 를 조절한다.

$$\theta_{\Delta} = K_P \Delta i + K_I \int \Delta i \, dt \quad (11)$$

$$\theta_{ad}^* = \theta_{ado} + \theta_{\Delta} : \theta_{ado} = \frac{L_u}{(dL/d\theta)} \quad (12)$$

전류를 검출한 두 위치각은 그림 6에서 인덕턴스의 증가가 시작되거나 끝나는 위치각에서의 프린징 효과를 고려하여 선정할 필요가 있다.

3.3 PLL 제어를 이용한 SRM의 안정화 운전

기존의 Phase locked loop 제어방식과 유사한 기능을 SRM 드라이브에 부여하여 운전의 안정성을 높임으로써 동특성을 향상시키고자 하는 제어기법⁹⁾이다. 즉 SRM 드라이브에서 선행스위칭각과 인가전압을 제어변수로 사용하지만 제어변수에 대한 토오크의 비선형 특성이 강하여 부하변동에 대한 속응성에 문제가 있다. 이에 같은 돌극형 동기전동기에서의 출력특성인 전력각 제어기능의 개념을 도입하여 선행스위칭각을 동적 도통각제어로 부하에 적응제어시키면서 인가전압을 선행스위칭각과 상관시켜 조정시키는 방식이다.

그림 8은 이 제어방식의 구성도이다. SRM 드라이브에서의 부하 증감에 대한 선행스위칭각의 조절은 PLL제어루프의 위상검출기의 출력신호로 제어하도록 하고, 이러한 출력신호에 비례하는 루프필터의 출력신호로 SRM 드라이브의 인가전압을 순시제어를 하도록 한다.

먼저 위상검출기에서는 도통각을 제어하게 되며, 정상적인 운전상태에서 상전류 피드백을 통한 기준속도 펄스신호와 회전자 위치센서의 속도펄스신호에서의 위상차에 해당하는 만큼의 펄스폭을 가진 신호를 출력한다. 이때 그림 9에서와 같이 부하가 증가하게 되면 회전자 위치센서의 출력신호가 조금씩 지연되어 두 신호의 위상차가 커지며 이에 따라 위상검출기의 출력신호의 펄스폭이 점점 커지는 동작을 하게 된다.

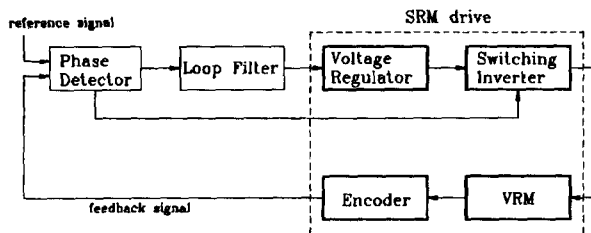


그림 8 PLL제어를 이용한 SRM드라이브의 제어

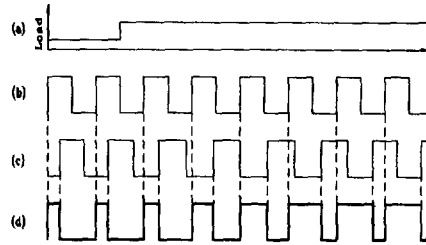


그림 9 부하에 따른 도통각제어 (a) 부하변화 (b) 기준 속도 (c) 회전자센서 신호 (d) 위상검출기 출력

그림 10은 이러한 PLL제어방식을 SRM 드라이브에 적용시킨 시스템의 구성을 보여주고 있다. 이 그림에서 부하에 탄력적으로 대응하여 도통각을 제어하는 전류도통각 제어루프와 인가전압을 제어하는 순시전압 제어루프가 결합되어 있다. 결과적으로 토오크 각을 별도의 연산과정을 거치지 않고

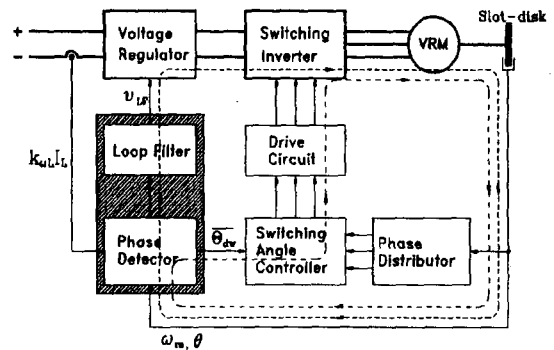


그림 10 PLL제어를 이용한 SRM드라이브의 구성도

순시적으로 응답하게 하는 메커니즘을 구현함으로써 전류도통각의 적응 제어가 가능하고 동시에 동특성도 향상시킬 수 있다.

4. SRM드라이브의 소음·진동의 억제기법

SRM드라이브는 토오크-속도제어 및 경제성면에서 타전동시스템에 비하여 우수하다. 그러나 소음 진동특성이 취약하여 쉽게 실용화 범위를 확대시키지 못하고 있다. 그리하여 최근에 와서는 개발연구의 주안점을 소음진동의 억제에 두고 있다.

여기에는 상간 콤퓨테이션 구간에서 2단 스위칭을 하여 진

동 전자력을 적극적으로 상쇄시키는 방법과, 별도의 전절권 보조권선을 부가하여 스위칭 에너지를 원활하게 콤퓨테이션시키는 방법이 있다.

4.1 2단계 스위칭에 의한 소음억제 제어

도통중이던 상전류를 스위치 오프시킬 때 발생하는 진동과 소음을 줄이기 위하여 1차 전류시 발생된 진동을 2차 전류에 의하여 상쇄시키도록 한 기법으로써 Pollock 등이 제안⁷⁾하였다. 그림 11은 이 과정을 설명하고 있다. 즉 그림 1에서와 같이 한 상에 대한 양단의 스위칭중 1차적으로 한 쪽만 턴-오프 시킴으로써 전류는 프리휠링 루프에 의해 감소되며 이때 고정자 자체가 가진 고유주파수의 진동이 발생하게 된다. 이렇게 발생한 진동에 대해 위상차가 180°될 때 나머지 한 쪽의 스위치를 추가로 오프 시킴으로써 반대방향의 진동을 발생시

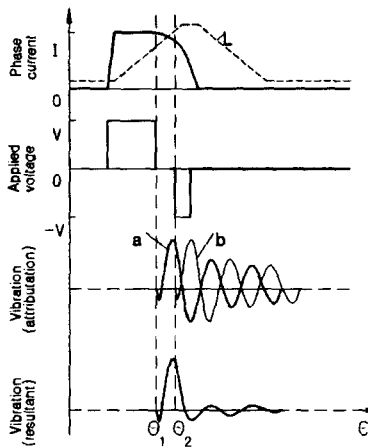


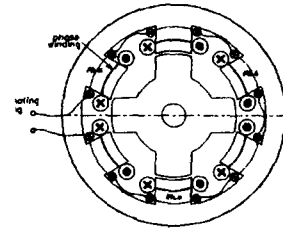
그림 11 2단계 전류에 의한 소음억제 제어

켜 상쇄시키는 방식이다. 이러한 방법에 의하여 진동과 소음이 상당히 감소되는 효과가 실험적으로 확인되었다.

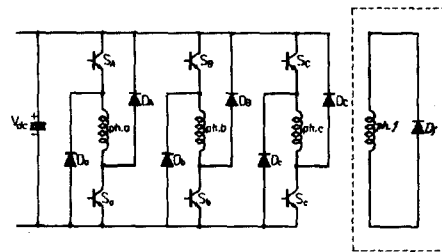
그러나 이 제어방식은 전동기의 고유주파수가 정확히 계산되어야 하고 또한 이를 근거로 각 스위치의 오프각을 2단계로 결정하므로 제어로직이 다소 복잡해진다. 그리고, 갑자기 프리휠링에 따른 전류소호시간의 증가는 SRM의 토오크 발생 영역에 해당하는 공간각의 활용률을 저하시켜 비출력의 감소를 초래하게 되며 진동모드의 고유주파수가 낮거나 고속운전의 경우에는 적용하기 어렵다는 문제점을 가지고 있다.

4.2 상간 콤퓨테이션 보상권선에 의한 소음억제 제어

SRM의 기본 전자구조에 그림 12(a)에서와 같이 전절권의 보상권선(compensating winding)을 추가하여 상간을 자기



(a) VRM with compensating winding



(b) Inverter with compensating winding

그림 12 보상권선을 갖는 SRM 드라이브의 전자구조 및 구동회로

적으로 결합하는 mutual inductance를 갖도록 함으로써 상간의 전자에너지 콤퓨테이션을 원활하게 할 수 있다. 구동회로는 그림 12(b)에서 보는 바와 같이 단방향 단락회로와 직류전압 보상제어회로로 구성된다. 그리하여 상권선스위치의 턴-오프시 발생하는 방사방향 전자력과 전자에너지의 순시변화를 보상권선의 상호작용에 의해 흡수하여 완화시키고, 동시에 전자에너지는 다음 상권선에 스위치-온시 전달하여 회전력으로 변환시킨다. 그러므로 진동, 소음의 기작력을 억제함과 동시에 동력변환이 순조롭게 이루어지며 넓은 통전구간을 확보하여 출력을 증대시킬 수도 있게 한다.

본 방식은 부하변동이 크고 고속운전에 유리할 것으로 예상된다.

5. 결 론

SRM드라이브의 앞으로의 개발연구로는 자기적 비선형성에 대한 제어기법과 진동소음의 억제기법에 집중될 것이다. 즉, 토오크 발생의 간단성에 비하여 SRM에 포함된 높은 자기적 비선형성은 제어대상의 모델링을 어렵게 하는 요소가 되고 있다. 이러한 비선형성에 대한 대책으로 뉴로-퍼지 등의 추론제어기법의 적용¹⁰⁾이 큰 효과를 볼 수 있을 것으로 생각된다.

또한 SRM 드라이브는 여러 가지 큰 장점과 함께 소음과 진동이라는 큰 단점을 동시에 가지고 있어 기존의 가변속 드라

이브에 대해 상대적으로 경쟁력을 가질 수 있도록 소음과 진동의 저감에 대한 적용연구가 추후의 연구과제로 될 것이다.

결론적으로, SRM 드라이브는 높은 효율과 체적당 출력, 우수한 고속특성 등의 관점에서 최근 20년간 많은 연구가 진행되어 왔고 응용분야에 따라 산업용으로는 가전용 그리고 전동차 등에 있어 가변속 전동기구로서의 많은 활용이 기대되고 있다. 그럼에도 불구하고 아직 기존의 타 전동기구에 비하여 그 개발역사가 짧고 관련기술의 보편화가 늦어 본격적인 실용화가 지연되고 있다. 따라서 상대적 우위를 점할 수 있는 응용분야를 위주로 차츰 실용화 사례가 늘어나면서 주변의 응용여건이 개선되고 현재의 최신 제어기법들이 충분히 적용됨으로써 조만간 크게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] P.J.Lawrenson, J..Stephenson, P.Blenkinson, J.Corda, and N.N.Fulton : "Variable-speed switched reluctance motors", Proc. IEE, Vol.127, Pt-B, No.4, pp.253-265, 1980
- [2] Martyn R.Harris, John W.Finch, John A.Mallick and Timothy J.E.Miller : "A Review of the Integral - Horsepower Switched Reluctance Drive", IEEE Trans. on IA, Vol.22, No.4, pp.716~721, 1986.
- [3] Hassan Moghbelli, Gayle E.Adams and Richard G.Hoft : "Performance of 10-Hp Switched Reluctance Motor and Comparison with Induction Motors", IEEE Trans. on IA, Vol.27, No.3, pp.531~538, 1991.
- [4] Bimal K.Bose, Timothy J.E.Miller, Paul M.Szczesny and William H.Bocknell : "Microcomputer Control of Switched Reluctance Motor", IEEE Trans. on IA, Vol.22, No.4, pp.708-715, 1986.
- [5] P.H.Chappell, W.F.Ray and R.J.Blake : "Microprocessor control of a variable reluctance motor", Proc. IEE, Vol.131, No.2, Part.B, pp.51~60, 1984.
- [6] 추영배, 박성준, 김선구, 신흥교, 황영문 : "평활전류파형의 단일펄스 상전류에 의한 SRM의 구동", 전기학회 논문지 제47권 10호, pp.1590~1596, 1998.
- [7] C. Y. Wu and C. Pollock : "Acoustic Noise Cancellation Technique for Switched Reluctance Motor Drives", IEEE IAS Annual Meeting, Orlando, Florida, Vol. 1, pp. 448~455, 1995.
- [8] Iqbal Husain and M. Ehsani : "Torque Ripple Minimization in Switched Reluctance Motor Drives by PWM Current Control", IEEE Trans. on PE, Vol. 11, No. 1, pp.91-98, 1996.
- [9] 오석규, 황영문 : "PLL제어에 의한 SRM 드라이브의 유연한 제어방식에 관한 연구", 전기학회 논문지 46권, 제7호, pp.1041-1045, 1997.
- [10] 박성준, 박한용, 김정택, 추영배, 이만형 : "DSP를 이용한 Switched Reluctance Motor의 디지털 제어기에 관한 연구", 전력전자학회 논문지 제3권 제3호, pp. 263~272, 1998.
- [11] Slobodan Vukosavic and Vitor R.Stefanovic : "SRM Inverter Topologies: A Comparative Evaluation", IEEE Trans. on IA, Vol.27, No.6, pp.1034~1047, 1991.
- [12] R.Krishnan, R.Arumugam and J.F.Lindsay : "Design Procedure for Switched Reluctance Motors", IEEE Trans. on IA, Vol.24, No.3, pp. 456~461, 1988.
- [13] T.J.E.Miller : " Converter Volt-ampere Requirements of the Switched Reluctance Motor Drive", IEEE Trans. on IA, Vol.21, No.5, pp. 1136~1144, 1985.

<저자 소개>



황영문(黃煥文)

1934년 4월 13일생. 1957년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1959년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1972년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1991~1992년 대한전기학회 회장 역임. 현재 부산대학교 공대 전기공학과 교수. 당 학회 고문.



추영배(秋榮培)

1955년 6월 23일생. 1984년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1984년~1985년 (주)효성중공업 근무. 1986년~1991년 한국전기연구소 근무. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 거제대학 전기과 조교수.